

Physique-chimie 1

Présentation du sujet

L'omniprésence du traitement numérique de l'information n'a été possible que par une croissance exponentielle des performances des circuits intégrés, de leur fréquence de travail, de la capacité de stockage et de la miniaturisation des disques durs. La première partie du problème aborde l'architecture des convertisseurs analogique numérique ainsi que le filtrage préalable à la numérisation à travers une étude électrocinétique. La structure cristalline du silicium — matériau de choix de l'industrie électronique — et sa conductivité sont analysés via la loi de distribution de Fermi Dirac et le modèle des bandes dans la partie II. Le modèle de Drude de la conductivité métallique est prolongé par une approche simple de la magnéto-conductance via une analyse statistique de l'orientation des spins dans un champ magnétique. Une estimation du débit d'informations numériques dans un disque dur complète la partie III. La montée en fréquence des microprocesseurs va de pair avec un échauffement du composant, qui serait fatal en l'absence de dispositifs de refroidissement analysé dans la partie IV.

Analyse globale des résultats

Les divers thèmes des quatre parties sont abordés de manière très progressive avec de nombreuses questions sans difficultés qui ont limité le nombre de très faibles copies. Les trois premières parties du problème ont été traitées avec des performances similaires tandis que la dernière a souffert de sa position dans le texte. Le pourcentage de réussite (moyenne des candidats ramenée au total de la partie) atteint à peine 28 % pour les parties I et II. L'électrocinétique de base s'avère insurmontable pour un nombre significatif de candidats. Il en est de même pour l'atomistique et la cristallographie du silicium. L'étude de la conductivité a eu davantage de succès : 33 %. La dernière partie sur les transferts thermiques a été relativement peu abordée : 22 %. Elle était pourtant très progressive à travers de nombreuses questions proches du cours. La qualité de la présentation des copies est satisfaisante, peu de copies ayant été pénalisées. Il faut néanmoins accentuer l'effort de mise en forme des phrases explicatives essentielles dans les questions qualitatives et encore davantage dans les questions ouvertes.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Les questions ouvertes

Le problème comportait trois questions non guidées clairement identifiées dans l'énoncé et indépendantes de la progression du problème : ces questions pouvaient donc être abordées sans référence au reste du texte. Dans chaque cas, il fallait exploiter des documents divers afin de dégager les données jugées pertinentes puis construire un raisonnement clairement explicité afin de relier ces paramètres physiques dans le cadre d'un modèle. Toute démarche était acceptée à condition de rester physiquement cohérente. Le jury attendait ensuite un regard critique sur les valeurs numériques obtenues avant validation.

I.F – Étude d'un filtre Cette question a assez souvent été abordée (30 % des copies) même si de trop nombreux candidats ont compris que chaque expérience concernait un filtre différent. La mesure du déphasage entre les deux signaux était pertinente dans le choix de la nature du filtre.

Les notations de la documentation technique des filtres LMF 100 pour les fréquences ont souvent induit les étudiants en erreur du fait d'une lecture superficielle des relations données. Très peu de candidats ont donc traité dans son intégralité cette question de facture assez classique sans difficulté majeure.

III.H – Débit numérique d'un disque dur Il s'agissait d'une question nécessitant de l'initiative pour relier les valeurs numériques des densités surfaciques de stockage au débit d'octets par seconde. De ce fait, elle n'a été que rarement abordée (10 % des candidats) avec une efficacité très limitée. Quelle que soit la démarche retenue, la taille d'un bit sur le disque était un point de passage obligé. On pouvait s'attendre à une analyse critique pertinente du résultat de la part d'une génération habituée aux technologies numériques. Le résultat a été très décevant. De très rares candidats ont trouvé un résultat satisfaisant.

IV.C – Échauffement d'un microprocesseur La quasi-totalité des étudiants ayant essayé de traiter cette question (14 %) n'ont pas lu l'énoncé pourtant très court. Il était bien précisé que l'étude devait se faire en l'absence de refroidissement. La seule difficulté revenait alors à choisir la valeur pertinente de la température maximale de fonctionnement dans les spécifications du microprocesseur entre la température de jonction et celle de fusion du silicium. Des réponses physiquement réalistes ont été très rares.

Partie I Numérisation avant stockage

L'étude de la charge du condensateur n'a de loin pas eu le succès escompté. Les raisonnements sont souvent approximatifs truffés d'erreurs de signe ou d'homogénéité. Le jury a eu l'occasion de voir toutes les variantes possibles pour l'expression de la constante de temps erronée dans de nombreuses copies. Une bonne préparation passe par une maîtrise de tels éléments de base. Le concept de codage d'un entier en base 2, pourtant largement présenté en informatique, est très loin d'être maîtrisé par de très nombreux candidats. En conséquence les réponses portant sur les CAN ont été données souvent au hasard, tandis qu'elles pouvaient se déduire d'une simple lecture du graphe d'une rampe de tension numérisée sous 3 bits. La bande de fréquence adaptée à un signal sonore a souvent été omise en cohérence avec la nature du filtre retenue. Le critère de Shannon est assez bien connu, même s'il a souvent été utilisé à mauvais escient en particulier en début de partie.

Partie II Les matériaux

Le concept d'électrons de valence est extrêmement flou chez une très grande partie des étudiants en dépit de la donnée des configurations électroniques. Le réflexe d'une utilisation raisonnée des documents n'est pas encore opérationnel. Le tracé des courbes de distribution de Fermi Dirac à diverses températures a été catastrophique. Il fallait ensuite dégager la relation entre le modèle des bandes électroniques et la différence conducteur-isolant en dépassant les paraphrases portant sur les probabilités. L'étude de la structure électronique a été le parent (très) pauvre de cette partie alors que le rayon atomique du silicium était indiqué.

Partie III Conductivité dans les conducteurs

C'est incontestablement le début de cette partie qui a fortement limité le nombre de très mauvaises copies. La quasi-totalité des candidats a traité le calcul de la conductivité dans le cadre du modèle de Drude. Par contre le champ d'application à des variations temporelles est beaucoup moins bien connu. La sonde à effet Hall n'a qu'exceptionnellement été reconnue comme un capteur de champ magnétique. Les étudiants qui ont reconnu un système à deux niveaux d'énergie régi par

une statistique de Maxwell Boltzmann ont souvent très bien traité cette approche simplifiée de la magnéto conductance.

Partie IV Dissipation thermique dans les systèmes électroniques

Le début de cette dernière partie traite de la mise en équations locales de la diffusion thermique dans une géométrie où une seule variable d'espace intervient. En conséquence, le jury a pénalisé toute démonstration reposant sur le vecteur densité de courant thermique et une loi de conservation écrite de manière très générale. En revanche l'attente du jury a été très ferme sur la mise en forme de ce raisonnement sans difficulté particulière. L'expression des résistances thermiques a souvent été correctement établie à la suite de l'étude du profil de température. Pour traiter l'association microprocesseur-caloduc-radiateur, un schéma était nécessaire-mais rarement explicité-pour vérifier la bonne appropriation de la situation. Peu de candidats sont arrivés au stade de l'étude du mécanisme de fonctionnement du caloduc situé en toute fin de problème.

Conseils aux candidats

Le jury attire l'attention des étudiants sur l'importance d'une lecture attentive de l'énoncé et des données indiquées. Ces dernières n'étant pas toutes pertinentes, il faut donc consacrer le temps nécessaire pour mener à bien une exploitation raisonnée. Les questions qualitatives qui permettent de s'assurer de l'appropriation des situations physiques par le candidat requièrent plus particulièrement une rédaction précise tout en étant concise. Les questions non guidées peuvent être l'occasion de faire preuve de votre capacité d'analyse, et ce indépendamment du reste du problème, le barème tenant largement compte de la spécificité de ces questions.

Conclusion

Dans le contexte de cette épreuve, le jury n'a pas eu le sentiment d'une rupture nette du niveau avec les années précédentes suite à l'introduction des nouveaux programmes. De bons, voire très bons candidats ont abordé les quatre parties avec efficacité et pertinence en s'appuyant sur une assez bonne maîtrise calculatoire. Les candidats qui se sont investis tout au long des deux années de préparation ont trouvé là moyen de valoriser leurs efforts. À l'opposé, il faut encore déplorer le trop grand nombre de copies présentant manifestement une méconnaissance totale de questions tout à fait élémentaires. Le gain d'efficacité ne peut être obtenu que par un travail régulier des éléments fondamentaux vus en cours et non par une connaissance fragmentaire et superficielle des concepts physiques ou chimiques.